

## Válasz

Biacs Péter MTA doktora opponensi véleményére

Köszönöm Bírálóm mindenre kiterjedő alapos munkáját, véleményét, és elismerő szavait, melyben az összeállított irodalmi összefoglalót, valamint a nemzetközi tudományos elismertséget méltatja. A helyesírási hibákat resteltem, de örülök, hogy csak ilyen kis számban fordultak elő. A legrégebbi cikkem, úgy kapta a 19-es sorszámot, hogy a cikkeket nem időrendben, hanem tematikailag igyekeztem sorszámozni. A hiányolt összetételi táblázatot elkészítettem, az általam az előkezelés során vizsgált nyersanyagok analízis adatait az alábbi (1) táblázatban foglaltam össze.

### 1. táblázat

Az előkezelések során felhasznált nyersanyagok kémiai összetétele

nyersanyag	Cellulóz (glükán) tartalom (%)	Hemicellulóz (pentozán) tartalom (%)	Lignin tartalom(%)
Kukoricaszár	36-42	20-23	17-26
Kukoricarost <sup>x</sup>	26,9-28,9	30,6-33,2	5-9
Cukorcirok bagasz	36,3	27,6	18,1
Kender	43,6	10,5	14,9
Kender pozdorja	40,1	19,3	21,7
Balatoni nád	33	20	26

<sup>x</sup> a glükán tartalom itt a keményítő és cellulóz tartalmat együttesen jelenti.

### Kérdésekre adott válaszaim:

- 1. Van-e hazánkban olyan régió, megye vagy tájegység, mely alkalmas és elegendő (homogén vagy heterogén) nyersanyag-forrást biztosít lignocellulóz-bázison etil-alkohol előállítására?*

A termésátlagok, a termőterületek és össztermés alapján több ilyen megye is van, kukoricatermelésben Fejér, Somogy és Baranya, búza tekintetében Békés, Bács-Kiskun, Jász-Nagykun-Szolnok, vagy akár Fejér megye is számításba jöhet (1). A szár mennyisége a magtermés 1,3-1,5-szerese (2). A talajerő visszapótlására kb. a szár 30%-át szükséges a szántóföldön hagyni (2), a fennmaradó 70% on osztozik a második generációs etanolgyártás az állattenyésztéssel, esetleg egyéb feldolgozó iparokkal (szalmacellulózgyártás).

1.) AKI Fontosabb növények megyei termésátlagai 2007-2012  
<https://www.aki.gov.hu/publikaciok> (2012.11.25)

2.) Milbrandt, A. (2005) A Geographic Perspective on the Current Biomass Resource Availability in the United States, Technical Report NREL/TP 560-39181

Ezzel együtt véleményem szerint nem szabad nagy üzemméretben gondolkodni, ugyanis a kis tömegsűrűségű, váltakozó nedvességtartalmú mezőgazdasági melléktermékeket becslések szerint max. 50 km-es távolságból szabad beszállítani, mind a folyamat energiamérlege, mind fenntarthatósága szempontjából.

Ha döntenem kellene az **első** magyarországi lignocellulóz alapú etanol kísérleti üzem létesítéséről, akkor azt Szabadegyházán a Hungrana Keményítő és Izocukorgyártó Kft közvetlen közelében valósítanám meg. Ez ugyanis az a hely, ahol a kukoricarost (kukorica maghéj) koncentráltan keletkezik, azaz semminemű szállítási költség (és energia) nem terheli. Az üzemben 1 millió tonna kukoricát dolgoznak fel évente, melyet nedves őrléses technológiával frakcionálnak, s e művelet hatására mintegy 100000 tonna kukoricarost keletkezik, melynek 60-65%-a szénhidrát. A kukorica nedves őrléses feldolgozása maga is egy biofinomító folyamat, melyet a rost frakcionálásával és biotechnológiai hasznosításával még jobban ki lehetne szélesíteni.

Amennyiben lehetőségem lenne egy **második** kísérleti üzem tervezésére is, azt is Fejér megyében építeném, de ott különböző nyersanyagokkal oldanám meg az etanoltermelést („multi feedstock technology”). Sem a kampányszerű feldolgozást nem tartom kivitelezhetőnek (a betakarítással párhuzamosan, néhány hónap tárolási idővel folyik a termelés, lsd. répacukorgyártás), sem azt, hogy a kukoricaszárat, vagy a búzaszalmát 10 hónapig tárolják, ha a betakarítás 2 hónap alatt lezajlott. Az alábbiakban egy lehetséges nyersanyag „forgót” ismertetek:

Szeptember, október, november, december: kukoricaszár

Január, február, március, április: nád a Velencei tóról

Május, június: fű, lucerna

Július, augusztus: búzaszalma

Természetesen a nyersanyagellátás finomhangolása még további kutatómunkát igényel.

2. *Van-e olyan technológia, mely az általa vizsgált minden lignin tartalmú nyersanyagra egyaránt használható mind a feltárási, mind pedig a fermentációs lépcsőben?*

Hadd tárgyaljam külön-külön a feltárási (előkezelési) és a fermentációs lépcsőt.

**Az előkezelés esetében:**

A gőzrobbantás körülményeinek megfelelő megválasztásával valószínűleg az összes általam vizsgált nyersanyag előkezelhető lenne. A hőmérséklet és a reakcióidő, a katalizátor (jellemzően  $\text{SO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) alkalmazása, vagy elvetése, az egy vagy kétlépcsős gőzrobbantás alkalmazása mind eldöntendő kérdések, de végső soron megoldható a probléma.

Ezzel együtt én nem gondolom, hogy minden nyersanyagnál azonos előkezelést kellene alkalmaznunk, célszerűnek látok három nagy csoportot kialakítani, ahol a fa alapú, a mezőgazdasági melléktermékek és az **agroipari melléktermékek** külön-külön csoportokat alkotnának. Ez utóbbiaknál híg kénsavas kezeléssel már tökéletes előkezelést sikerült elérnünk, amikoris amellet, hogy az előkezelt anyag bonthatósága jelentősen javult, a hemicellulózt csaknem kvantitativ elválasztottuk a cellulóz frakciótól (kukoricarost), így téve lehetővé annak külön másirányú felhasználását. A **mezőgazdasági melléktermékeknél** (búzaszalma, kukoricaszár) az általam nem alkalmazott, de mértékadó amerikai kutatók által jónak talált AFEX (ammóniával történő robbantás) eljárást ajánlanám, amennyiben nincs frakcionálási igény (3,4).

3.) Wyman, C.E., Dale, B.E., Elander, R.T., Holtzapple, M., Ladisch, M.R., Lee, Y.Y. (2005) Coordinated development of leading biomass pretreatment technologies. *Bioresource Technology*, 96:1959-1966.

4.) Li, C., Cheng, G., Balan, V., Kent, M.S., Ong, M., Chundawat, S.P.S., Sousa, L.C., Melnichenko, Y.B., Dale, B.E., Simmons, B.A., Singh, S. (2011) Influence of physico-chemical changes on enzymatic digestibility of ionic liquid and AFEX pretreated corn stover. *Bioresource Technology*, 102:6928-6936.

Ennek az eljárásnak a gyenge pontja, hogy miután nem történik meg a szénhidrátfrakciók szétválasztása, a fermentáció során alkalmas mikroorganizmus felhasználásával kell biztosítani a hexóz és pentóz cukrok egymás melletti erjesztését. Ha erre nincs mód, akkor egy biogáz üzem integrálásával kell a szeszmoslék maradék szervesanyag tartalmát hasznosítani. Az **erdészeti, faipari** melléktermékek, hulladékok előkezelésére feltétlenül a gőzrobbantást ajánlanám, kiegészítve még a

kender, kenderpozdorja és a balatoni nád nyersanyagokkal is. A hőmérséklet és a tartózkodási idő megfelelő megválasztásával és azzal, hogy alkalmazunk-e katalizátort, valószínűleg minden nyersanyagra sikerül megfelelő körülményeket biztosítanunk. Egyes esetekben valószínű, hogy mérlegelni kell, hogy egy, vagy kétlépcsős előkezelést alkalmazzunk.

**A fermentáció tekintetében:** Az előkezelési folyadékfázis elválasztása után SSF (szimultán cukrosítás és fermentáció) műveletben egy megfelelően választott cellulázkomplex (béta glükozidázzal és hemicellulázokkal kiegészítve) alkalmazásával *Sacharomyces cerevisiae* élesztőtörzzsel enyhén savas körülmények között (pH: 4,5-4,9), 35-38 °C-on hajtánám végre a fermentációt.

3.) *Milyen környezetvédelmi előírásoknak lehet eleget tenni egy második generációs etil-alkoholt előállító üzem engedélyezéséhez a hagyományos nyersanyagokkal dolgozó fermentációs üzemmel összevetve?*

Mind a hagyományos (első generációs), mind a második generációs üzemek **a környezeti hatásvizsgálati és az egységes környezethasználati engedélyezési eljárásról** szóló **314/2005. (XII. 25.) Korm. rendelet** hatálya alá tartoznak (5).

5. <http://net.jogtar.hu> (2012.11.25)

Mindkét eset az 1. melléklet 20. pontja alá tartozik:

„Komplex vegyiművek, azaz olyan létesítmények, amelyekben több gyártóegység funkcionálisan összekapcsolva csatlakozik egymáshoz, és amelyekben kémiai átalakítási folyamatokkal ipari méretben történik: pl. szerves vegyi alapanyagok gyártása”,

azaz hatásvizsgálatot kell végezni az üzem engedélyeztetésének első lépéseként.

A tervdokumentációt a jogszabály 6.§-a alapján az 5-6-7. melléklete szerinti tartalommal és szempontok mentén kell összeállítani.

**6. §** (1) A környezeti hatásvizsgálati eljárás a környezeti hatásvizsgálatra kötelezett tevékenységnek

a) a környezeti elemekre (földre, levegőre, vízre, élővilágra, épített környezetre, ez utóbbi részeként a műemlékekre, műemléki területekre és régészeti örökségre is),

b) a környezeti elemek rendszereire, folyamataira, szerkezetére, különösen a tájra, településre, éghajlatra, természeti (ökológiai) rendszerre való hatásainak, továbbá

c) az előbbi hatások következtében az érintett népesség egészségi állapotában, valamint társadalmi, gazdasági helyzetében - különösen életminőségében, területhasználata feltételeiben - várható változásoknak az egyes esetek sajátosságainak figyelembevételével történő meghatározására, valamint a tevékenység ennek alapján történő engedélyezhetőségére terjed ki.

A hatásvizsgálat alapján egységes környezethasználati engedély (IPPC – Integrated Pollution Prevention and Control) szükséges az üzemek engedélyeztetése során a rendelet 17.§ szerint, amely eljárás fő feladata az elérhető legjobb technológia, BAT bemutatása.

A második generációs üzem a **BAT (Best Available Technology) vizsgálat során kerül előnybe**, hisz a teljes tevékenységet vizsgálva **kevesebb hulladékot termel**, mivel eleve mezőgazdasági melléktermék és/vagy hulladék a technológia alapanyaga. A második generációs üzemek ezen fő előnye mutatkozik meg más környezetvédelmi jogszabályok tükrében is. Így például teljesíti az **új Hulladéktörvény** (még nem lépett hatályba) egyik fő elvét a **hulladékképződés minimalizálását**, miután a mezőgazdasági, agroipari, erdészeti melléktermékek és hulladékok hasznosítását biztosítja. Megfelelő termelés szervezés mellett a törvény másik alapelvét, a közelség elvét – azaz a hulladék minél kevesebb szállításának követelményét - is könnyű kielégíteni egy ilyen üzemmel.

Megemlíthető, hogy a talajvédelmi szempontból is előnyösebb a második generációs etanolgyártást választani, hisz a főlegesen szalma, szár beszántása a talajba plusz nitrogén műtrágyázást igényel a mikrobiológiai degradációhoz szükséges megfelelő C/N arány biztosításához. A második generációs etanol gyártása a talaj ilyen típusú terhelését csökkenti, azaz **a talajvédelmi terv készítésének részletes szabályairól szóló 90/2008. (VII. 18.) FVM** rendelet szerint is előnyösebb besorolású a második generációs etanolgyártás. A kevesebb műtrágya, kevesebb szennyezést okoz a felszíni és a felszínalatti vizekben így elősegíti az Európai Unió **2000/60/EK Víz Keretirányelvének (VKI)** célkitűzéseinek elérését, **azaz a vizek mezőgazdasági eredetű nitrátszennyezéssel szembeni védelméről szóló 27/2006. (II. 7.) Korm. rendelet** előírásainak betartását.

Mindent összevetve nem kell több és nem kell más környezetvédelmi előírásoknak megfelelni a második generációs üzemanyagalkoholt előállító gyár létesítésekor.

A legújabb, az Európai Bizottságtól származó jogszabály-javaslat szerint (6) a jövőben a lignocellulóz melléktermékek felhasználásán alapuló etanol termelést fogják csak támogatni és elismerni a 2020-as megújuló célok elérésében. Ennek oka, hogy az utóbbi hónapokban (valószínűleg a nagy területeket sújtó aszály és magas gabona árak következtében) felerősödtek az élelmiszer kontra bioüzemanyag viták, valamint az első generációs bioüzemanyagoknak a CO<sub>2</sub>-emisszióra gyakorolt pozitív hatásával szembeni kételyek. Ennek hangot adva az Európai Bizottság két irányelvét módosítva 2012. október 17-én a fentebb említett új javaslatot tette közzé (6), mely szerint 2020 után az üzemanyagokra előírt 10% megújuló aránynak csak a felét lehet első generációs bioüzemanyaggal biztosítani (ez gyakorlatilag az első generációs gyártó kapacitások jelen szinten történő befagyasztását jelenti), ez természetesen nem tiltást jelent, hanem csak azt, hogy nem lehet elszámolni a 2020-as megújuló cél elérésében. Emellett azt is tervezik, hogy 2014. július 1. után csak olyan bioüzemanyag gyárak építését engedélyezik, ahol a CO<sub>2</sub> megtakarítás minimum 60%-os.

6. 8.) Proposal for Directive of the European Parliament and the Council amending Directive 98/70/EC relating to the quality of petrol and diesel fuels and amending Directive 2009/28/EC on the promotion of the use of energy from renewable resources

[http://ec.europa.eu/energy/biofuels/doc/biofuels/com\\_2012\\_0595\\_en.pdf](http://ec.europa.eu/energy/biofuels/doc/biofuels/com_2012_0595_en.pdf)

Budakeszi, 2012.12.04.

Réczey Istvánné Csorba Katalin